2. 汶川、台湾建筑震害启示——改进规范的几点建议

傅学怡

（中建国际设计顾问有限公司）

1 引言

作者结合汶川地震和台湾9.21地震的建筑震害现象，从规范角度思考一些问题，谈谈个人的看法。

从这次地震灾害来看，总体来说我国现行建筑抗震设计规范、规程是基本可行的，但不等于不需要改进。以下就震害引起的几个主要方面启示，谈个人对规范改进的意见。

2 对“小震不坏、中震可修、大震不倒”的思考

这次汶川地震，引起部分房屋倒塌，特别是一些学校倒塌，损失惨重，引发了对所有建筑都采用“大震不倒”设计原则的思考，是否应根据房屋使用功能，综合震后修复使用的代价，区分4类房屋，调整“大震不倒”设计原则如下：

（1）次要房屋（仓库、临建）“大震不倒”；

（2）一般房屋（住宅、办公、商业）“大震可修”，大震以后会有一定的破坏，但是可以修复使用；

（3）重要房屋（学校、医院、体育、公共）“大震不坏”，大震基本不坏，不需要做大的修理就可以继续使用；

（4）生命线工程（通信、电力、交通、市政管线）“大震可用”，大震下可正常使用。

这样进一步的细分，能对我们今后的抗震救灾工作以及震后的修复工作，带来巨大的经济和社会效益。如果不进行细分，都用一个“大震不倒”，和我们整个国家改革开放30年来的经济发展不协调，也不利于震后修复。

如何来实现细分的抗震设防目标？目前抗震规范是把基本烈度降低1.5度进行抗震设计，也就是所谓的小震设计。要不要过渡到中震设计，和国际接轨？很多同志都倾向于要适当过渡，适当过渡不是整个结构都过渡，而是先抓关键竖向构件。从这次地震灾害也可以看到，绝大多数结构实际上都是“强梁弱柱”，从保证“强柱弱梁”出发，把柱、墙等关键竖向构件的承载能力和中震挂钩，保证它们的承载力，有利于真正实现“大震不倒”的设计意图。

采用性能化抗震设计，上述4类房屋的关键竖向构件的承载力建议可取如下标准：

（1）次要房屋，中震下满足极限承载力，极限承载力约为设计弹性承载力的2～

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2.5 倍；

（2）一般房屋，大震下满足极限承载力；

（3）重要房屋，大震下满足屈服承载力，屈服承载力约为设计弹性承载力的 1.5 倍；中震下基本弹性，分项系数取 1。

（4）生命线工程，大震下基本弹性，分项系数取 1。

通过竖向构件承载力提高和中大震作用切入，这种细分的性能化设计比较容易落实，实际工程中也比较容易操作，结构抗震性能能够从中得到实惠。

笔者曾经到过台湾 9.21 大地震后的现场，图 1、图 2 是台湾 9.21 地震后照片，作者同时也收集研究了不少这次汶川地震的照片。这些震害可以清楚地看出现浇钢筋混凝土结构破坏的共性是框架柱，特别是底层柱混凝土压溃、钢筋拉断，从而引起整体房屋倒塌。



图 1 柱倒，房屋跟着倒塌（台湾）



图 2 柱子扭断，上部结构整体塌落（台湾）

我们的设计都是按照“强柱弱梁”设计的，为什么还会出现这种柱先破坏的情况？究其原因，主要是整浇楼盖发挥了两大作用：一是卸荷作用，二是抗力作用。具体分析如下：

（1）我们在进行结构整体计算分析时，都是假定荷载传递途径为：板→梁→柱；而实际上，很多荷载通过板直接传给了柱。这样，根据假定算出来的框架梁弯矩是个“假”弯矩，和实际情况差别很大。

（2）要让框架梁屈服，楼板就都要屈服，楼板的钢筋和梁的钢筋是共同工作的，所以实际上整个现浇钢筋混凝土结构中的框架梁是得到了增强。

（3）框架柱无依无靠，地震作用下，框架柱容易首先被地震作用击坏。

要解决这个“强梁弱柱”，就要反其道而行之。我们在近些年的设计中已经注意到这个问题，采取了一些行之有效的措施：

（1）在计算上，充分考虑楼板作用，采用壳元细分。

（2）框架梁支座弯矩取到柱边。

（3）充分考虑板的钢筋作用，围绕着框架梁平行方向的板的钢筋，充分考虑。

按照上述原则，框架梁支座配筋一般可下调 30%左右，没有什么问题。“把钢用在刀刃上”，加强竖向构件，设法让框架梁出现屈服，实现比较好的延性机制，对抗震耗能比较有利，而且会带来较大经济效益。

综合起来，实现细分性能化设计的框图可如图 3 所示。抗震区划图是国家大政策，设

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

计按照调整后的抗震区划执行。工程比较好用的抗震设计方法还是反应谱法，所以还采用。区分两种构件，竖向构件按中震设计，水平构件按小震设计，以强化竖向构件、弱化水平构件。有人可能认为这样不平衡、不合理，但抗震设计不能讲平衡。为什么？因为目前的计算模型有太多的假定，不能完全正确地反映结构的实际受力情况，而必须根据震害给我们的启示，加强竖向构件的承载能力。延性及构造设计包括了连梁框架梁及竖向构件的抗剪和约束设计。

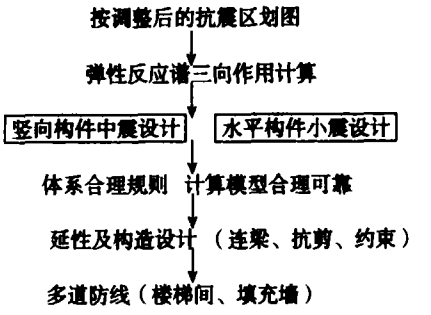


图3 抗震设计框图

3 有关抗震设计的改进

3.1 反应谱CQC法改进

从震害和振动台试验结果来看，反应谱CQC法计算的地震作用在以下三种情况有缺失：(1) 出屋面小塔楼；(2) 体型突变区；(3) 底部墙柱。

研究CQC法发现其主要原因在于为简化计算而引入一个重要假定，响应峰值因子等于各模态的峰值因子。这个假定，世界各国都在用，是因为受当时计算机条件限制。

我们现在研究提出了OCQC方法，不考虑这个假定，不对反应谱振型组合进行简化。目前的计算机水平是可以实现的，其计算结果与时程分析和随机振动分析结果较为一致。

3.2 动力弹塑性分析校核的改进

动力弹塑性分析校核是对结构拟静力反应谱法分析计算结果的重要补充和校核。

目前需要有统一的标准和方法：

(1) 本构关系；(2) 地震记录，最不利地震动；(3) 损伤、倒塌的指标标准；(4) 可操作性。

3.3 复杂截面剪力墙设计

复杂截面剪力墙设计，碰到的一个大问题是各种软件的计算结果离散，需要对复杂截面剪力墙进行研究，使计算结果安全合理一致。建议：

采用全截面应变平截面假定，采用全截面应力积分求解内力，进行配筋的承载力包络设计。

剪力墙的纵筋由计算确定，应布置在端部；采用约束边缘构件将部分纵筋布置到墙体内部，对剪力墙承载能力没有帮助。

3.4 填充墙

从减小对主体结构的影响和减小地震作用考虑，填充墙应该是质轻连柔。笔者在美国加州旧金山湾区（相当于中国9度区）发现，新建的建筑中多数采用各种各样的钢丝网水泥砂浆抹灰的填充墙，效果很好。

建议结合中国国情和环保节能研究开发类似做法。

3.5 机电设备非结构构件

应该将机电设备进入三向地震作用计算，保证生命线重要机电设备及其连接在地震作用下正常运行。这个要求应在建筑、设备抗震规范中有所体现。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3.6 新建、已建工程的抗震性能区分

新建、已建工程的地震作用、抗震构造及抗震性能指标应有所区分。

美国 FEMA/ATC，可作为我国的参考。

3.7 楼梯间

楼梯间的空间抗侧力作用非常大，是结构抗震的第一道防线。对此应采取有效的措施：(1) 进入结构整体计算分析；(2) 提高中、大震下楼梯间结构柱梁板抗震性能，形成安全岛；(3) 加强抗震构造。

3.8 防震缝

防震缝在这次地震中碰撞很多，对建筑结构造成一定的损坏，现行规范是按照中震设计确定缝宽，建议按照大震弹塑性相对位移（考虑随机振动），适当提高防震缝宽度，同时要加强构造。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net